4Б

УДК 681.324

А.В. Бухановский, С.В. Иванов, Ю.И. Нечаев, П.М.А. Слоот
НИИ наукоемких технологий Санкт-Петербургского национального
исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики
197101, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Кронверкский, 49

Функционирование виртуальной лаборатории экстренных вычислений в интеллектуальной среде «облачной» модели

A.V. Boukhanovsky, S.V. Ivanov, Yu.I. Nechaev, P.M.A. Sloot
Research Institute of Science Intensive Technologies of St. Petersburg National University of Information Technologies, Mechanics and Optics
197101, Russia, Saint Petersburg, Kronverkskiy pr., 49

Functioning of virtual laboratory of emergency calculations in intellectual environment of «cloudy» model

А.В. Бухановський, С.В. Іванов, Ю.І. Нечаєв, П.М.А. Слоот
НДІ наукоємних технологій Санкт-Петербурзького національного дослідного
університету інформаційних технологій, механіки й оптики
197101, Росія, м. Санкт-Петербург, пр. Кронверкський, 49

Функціонування віртуальної лабораторії екстрених обчислень в інтелектуальному середовищі «хмарної» моделі

Рассматривается проблема создания виртуальной лаборатории экстренных вычислений на основе интеллектуальных технологий и высокопроизводительных вычислений. Функционирование виртуальной лаборатории реализуется в среде «облачной» модели. Практическое приложение разработанной концепции обсуждается применительно к задаче контроля критической ситуации, связанной с управлением защитными сооружениями при наводнении.
Ключевые слова: экстренные вычисления, композитные приложения, распределенная среда поддержки принятия решений.

The problem of creation of virtual laboratory of emergency calculations is considered on the basis of intelligence technologies and high-performance computing. The functioning of virtual laboratory is realized in environment of «cloudy» model. The practical application of the developed concept is discussed with reference to a task of the control of a critical situation connected to management by protective structures at flood.
Key words: emergency calculations, composite applications, distributed environment for the support of decision-making.

Розглядається проблема створення віртуальної лабораторії екстрених обчислень на основі інтелектуальних технологій і високопродуктивних обчислень. Функціонування віртуальної лабораторії реалізується у середовищі «хмарної» моделі. Практичне застосування розробленої концепції обговорюється стосовно задачі контролю критичної ситуації, пов'язаної з управлінням захисними спорудами під час повені.
Ключові слова: екстрені обчислення, композитні застосування, розподілене середовище підтримки прийняття рішень.

Введение

Целью проводимых исследований является разработка теоретических основ и технологических решений в области «экстренных вычислений» (Urgent Computing, UC), реализуемых в рамках программно-аппаратного комплекса виртуальной лаборатории экстренных вычислений (ВЛЭВ). Виртуальная лаборатория представляет собой проблемно-ориентированную *инструментальную* среду для проектирования, разработки, отладки и поддержания функционирования систем раннего предупреждения, предназначенных для предотвращения критических ситуаций в различных областях человеческой деятельности. Специфической чертой ВЛЭВ является использование ресурсоемкого компьютерного моделирования процесса возникновения и развития экстремальной ситуации (simulation-driven approach, SDA) для поддержки принятия решений. Это требует развития соответствующих технологий распределенных вычислений и использования распределенных вычислительных сред [1-20].

В настоящей статье описан состав, характеристики и архитектура ВЛЭВ и ее подсистем. Развит и обоснован комплекс интеллектуальных технологий для управления вычислительными процессами в режиме UC, включая модели интерактивных композитных приложений, языки описания композитных приложений и процесса принятия решений, а также процедуру планирования исполнения композитных приложений на неоднородных ресурсах. С использованием среды разработки реализовано ядро ВЛЭВ, осуществляющее управление сценариями исполнения композитных приложений в распределенной вычислительной среде «облачной» модели. Спроектированы, разработаны и отлажены функциональные подсистемы ВЛЭВ (хранения и сбора данных, извлечения знаний из данных, поддержки принятия решений, визуализации). Разработан экспериментальный стенд, на котором проведено комплексное тестирование VLUC и ее подсистем, а также выполнены экспериментальные исследования функциональных характеристик ВЛЭВ. Обоснован выбор демонстрационных композитных приложений для отработки основных механизмов ВЛЭВ: композитного приложения для предупреждения наводнений в Санкт-Петербурге и социальных сферах, методов и алгоритмов, применяемых в демонстрационных приложениях. Произведена адаптация соответствующих прикладных пакетов и вычислительных ресурсов ВЛЭВ и выполнены экспериментальные расчеты на основе демонстрационных приложений, подтверждающие работоспособность разработанных решений и технологий. Применение ВЛЭВ создает стимул для развития современных высокопроизводительных систем поддержки принятия решений в различных критических ситуациях и предметных областях, позволит существенно сократить время их разработки и отладки, а также обеспечить надежность и своевременность выработки управляющих решений.

1 Концептуальная модель и архитектура ВЛЭВ в среде «облачной» модели

Концептуальная модель создания ВЛЭВ предусматривает интеграцию интеллектуальных технологий и высокопроизводительных средств вычислений в среде «облачной» модели. В рамках такой интеграции обеспечивается эффективное функционирование совместно используемой инфраструктуры на основе многоуровневого управления ресурсами. Создание такой сложной системы обработки информации осуществляется в рамках концепции самоуправления, с помощью которой обеспечи-

вается своевременное поступление исходных данных и команд, необходимых системе ВЛЭВ в процессе ее функционирования и при размещении данных в среде «облачной» модели информационной системы. Построение единого информационного пространства, объединяющего потоки данных и обеспечивающего возможность настройки сервисов, открывает перспективы использования разработанной интеллектуальной технологии в каждом из аппаратно-программных решений, отличающихся способами «виртуализации» многоуровневого управления поддерживающих рабочих нагрузок и используемых платформ. Проектирование ВЛЭВ в среде «облачных» вычислений осуществлено в виде иерархии уровней аппаратной, функциональной и информационной конфигурации (рис. 1).

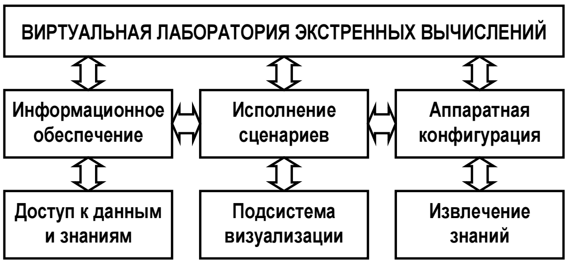


Рисунок 1 – Концепция организации ВЛЭВ в среде «облачной» модели

ВЛЭВ представляет собой проблемно-ориентированную *инструментальную* среду проектирования, разработки, отладки и поддержки функционирования EWS для предотвращения критических ситуаций в различных областях деятельности человека. Она обеспечивает решение следующих задач:

– функционирование EWS в рамках концепции экстренных вычислений (UC), реализуемой на основе неоднородной распределенной вычислительной среды (функция эксплуатации);

– разработка и исследование новых образцов EWS в рамках концепции UC на основе готовых шаблонов и компонентов (функция разработки);

– анализ сценариев развития критических ситуаций с учетом неопределенности и неполноты исходных данных на основе моделирования (simulation driven approach, SDA), с использованием ресурсов распределенной вычислительной среды (функция анализа);

– модельное воспроизведение процессов принятия решений в критических ситуациях (по предметным областям) в целях обучения ЛПР (функция тренажера).

ВЛЭВ обеспечивает функционирование *распределенной среды поддержки принятия решений (ППР)*, для описания которой вводятся классы распределенных ресурсов, используемых в процессе функционирования EWS. К ним относятся: вычислительные, программные ресурсы, ресурсы-источники данных и ресурсы лица, принимающего решения (ЛПР), вовлекаемые в работу с системой. Все виды ресурсов не входят в состав ВЛЭВ, однако могут использоваться в ходе работы конкретных EWS:

Программные ресурсы (пакеты прикладных программ) определяют ключевые сущности для построения композитных приложений, описывающих работу EWS. Путем вызова прикладного программного обеспечения (ПО) в форме сервисов реализуется унифицированный доступ к отдельным пакетам в рамках единого WF, решающего поставленную вычислительную задачу. Состав программных ресурсов определяется конкретной предметной областью применения EWS.

Вычислительные ресурсы – вычислительные системы в составе распределенной среды. В данном контексте они рассматриваются как платформа для исполнения программных ресурсов. Дополнительно к ним могут быть отнесены системы управления техническими средствами интерпретации результатов (системой 3D-визуализации, интерактивным столом и пр.).

Ресурсы-источники данных являются критически важными в рамках решения задачи UC вследствие ориентации на SDA. При этом для облегчения использования источников данных в рамках одного WF обеспечивается унифицированный доступ к различным источникам данных. В частности, кроме традиционно используемых локальных и распределенных хранилищ данных могут использоваться: источники потоковых данных (измерительные приборы, анализаторы социальных сетей с периодической выдачей информации и пр.); источники сигналов (средства мониторинга), реагирующие на возникновение какого-либо условия. Источники данных могут использоваться с разной степенью «реалистичности»: они могут отражать реальное состояние некоторого объекта в окружающем мире и обеспечивать возможность проведения ретроспективного анализа, запуска повторного воспроизведения сохраненных измерений. На основе анализа данных от источников может быть проведено имитационное моделирование, результатом которого являются «псевдореальные» измерения. Использование этих режимов доступа обеспечивает пользователю ВЛЭВ широкие возможности по исследованию различных вариантов управления критически важными (в рамках задач экстренных вычислений) объектами окружающего мира.

Ресурсы-ЛПР (human resources) специфичны только для задачи ППР, поскольку реализуют человеко-компьютерное взаимодействие с EWS. В качестве таких ресурсов рассматриваются ЛПР, использующие систему по целевому назначению, а также эксперты, которые привлекаются для оценки и интерпретации результатов. В рамках ВЛЭВ данный ресурс представлен программным ресурсом в виде специализированного АРМ, который предоставляет ЛПР возможность диалога и обеспечивает функционирование АРМ как еще одного источника данных (реакции на запросы или рекомендации EWS).

Работа с ресурсами ВЛЭВ осуществляется на нескольких уровнях. На уровне *ресурса* реализуются механизмы взаимодействия с ядром ВЛЭВ, определяемые политикой интеграции и режимом доступа к ресурсу. На уровне *среды* ВЛЭВ реализуются механизмы унифицированного доступа к ресурсам отдельного класса, что в конечном итоге обеспечивает единообразный подход к работе пользователя с ресурсами. На уровне *AWF* реализуются абстрактные вызовы функциональных возможностей ресурса, что обеспечивает возможность подбора конкретного ресурса из базы. На уровне *DWF* используются абстрактные описания задач, решаемых ресурсами. Такие описания транслируются в отдельные блоки AWF в процессе наполнения преобразования D-AWF.

В рамках принципов работы EWS принятие решений в распределенной среде осуществляется с использованием ресурсов различных организаций, которые формально могут быть представлены в виде множества:

$$RS = RS_H \cup RS_S \cup RS_D \cup RS_{HR}, \quad (1)$$

где RS_H, RS_S – вычислительные и программные ресурсы; RS_D – источники данных, которыми располагает организация; RS_{HR} – ресурсы ЛПР. Все перечисленные ресурсы взаимосвязаны и характеризуются разнородными зависимостями, во многом определяющими процесс использования каждого из них.

Взаимосвязи ресурсов описаны в форме онтологии, слой индивидов которой включает указанные классы ресурсов:

$$\widetilde{O}(RS) = \left\langle \widetilde{C}, \widetilde{R} \right\rangle : RS \subset \widetilde{C} . \qquad (2)$$

При этом отношения $\widetilde{R}$ характеризуют логические взаимосвязи между ресурсами. Следует отметить, что такие связи могут быть как статическими (явно определяющими взаимосвязь ресурсов), так и динамическими (формируемыми в ходе работы системы). Таким образом, $\widetilde{R} = \widetilde{R}_{stat} \cup \widetilde{R}_{dyn}$. Статические отношения задаются в явном виде, в то время как динамические связи – множеством правил

$$RL = \{rl : RS \times RS \to R\}, \qquad (3)$$

определяющих применимость отношений из множества R слоя классов онтологии:

$$\widetilde{R}_{dyn} = \left\{\widetilde{r} = \left\langle rs_1, rs_2 \right\rangle : \exists rl \in RL, rl(rs_1, rs_2) = r, gn^{(R)}\left(\widetilde{r}\right) = r\right\}. \qquad (4)$$

Множество правил, определяющих динамические связи, включает в себя правила, установленные на различных уровнях интеграции: общесистемном, организационном, индивидуальном (для отдельных ресурсов). Применение правил обеспечивает возможность адаптивной интеграции ресурсов в условиях динамически изменяющегося множества ресурсов.

Рассматривая взаимосвязи ресурсов, следует отметить, что наиболее пригодны к автоматизированной интеграции в ВЛЭВ программные ресурсы RS_S, которые могут обеспечивать взаимодействие с другими классами ресурсов: пользователями и экспертами систем (RS_{HR}), хранилищами и источниками данных (RS_D), используемыми аппаратными платформами (RS_H). В рамках онтологии могут быть выделены иерархические структуры взаимодействия ресурсов, корневым элементом которых являются программные ресурсы, обеспечивающие интерфейсы доступа, которые определяются множеством отображений

$$IFC = \{ifc : RS \to Q\}, \qquad (5)$$

где Q – множество запросов, допустимых для обработки системой. Для унификации представления знаний и полноты онтологической структуры принимается, что $IFC \subset \widetilde{C}$ и $Q \subset \widetilde{C}$, это в итоге обеспечивает достаточность онтологической структуры для принятия решений о динамической интеграции ресурсов в процессе обработки полученного запроса. Определяя семантически значимые элементы при интеграции, следует рассматривать структуру

$$t_{ifc} = \left\langle Q_{ifc}, RS_{ifc}, RS_{core} \right\rangle, \qquad (6)$$

где $Q_{ifc} \subset Q$ – множество допустимых запросов, определяющее интерфейс интеграции; RS_{ifc} – множество ресурсов, функционально поддерживающих данный интерфейс

$$\forall q \in Q_{ifc}, rs \in RS_{ifc} \exists ifc \in IFC : ifc(rs) = q\ ), \qquad (7)$$

традиционно рассматриваемых в виде подмножества $RS_{ifc} \subset RS_S$; RS_{core} – множество ресурсов, семантически поддерживающих запросы Q_{ifc}. При этом множество RS_{core} может быть представлено ресурсами различных категорий. Так, в случае, если

$RS_{core} \subset RS_{HR}$, речь идет об интеграции средств взаимодействия с экспертами и операторами в рамках обеспечения ППР. Если $RS_{core} \subset RS_{D}$, T_{ifc} обеспечивает интеграцию (с возможной предварительной обработкой) источников или хранилищ данных. При этом очевидно, что ресурсы множеств RS_{core} должны быть ассоциированы с ресурсами множества RS_{ifc} в рамках онтологической структуры связью, обеспечивающей возможность автоматической интеграции ресурсов RS_{core}.

Таким образом, концептуально ВЛЭВ представляет собой систему управления различными видами распределенных ресурсов, которое осуществляется на основе исходных знаний, представляемых в онтологической форме. Однако детализация архитектуры требует рассмотрения специфики работы с каждым из ресурсов.

На рис. 2 представлена обобщенная схема функционирования ВЛЭВ в ходе поддержки исполнения конкретной EWS как композитного приложения.

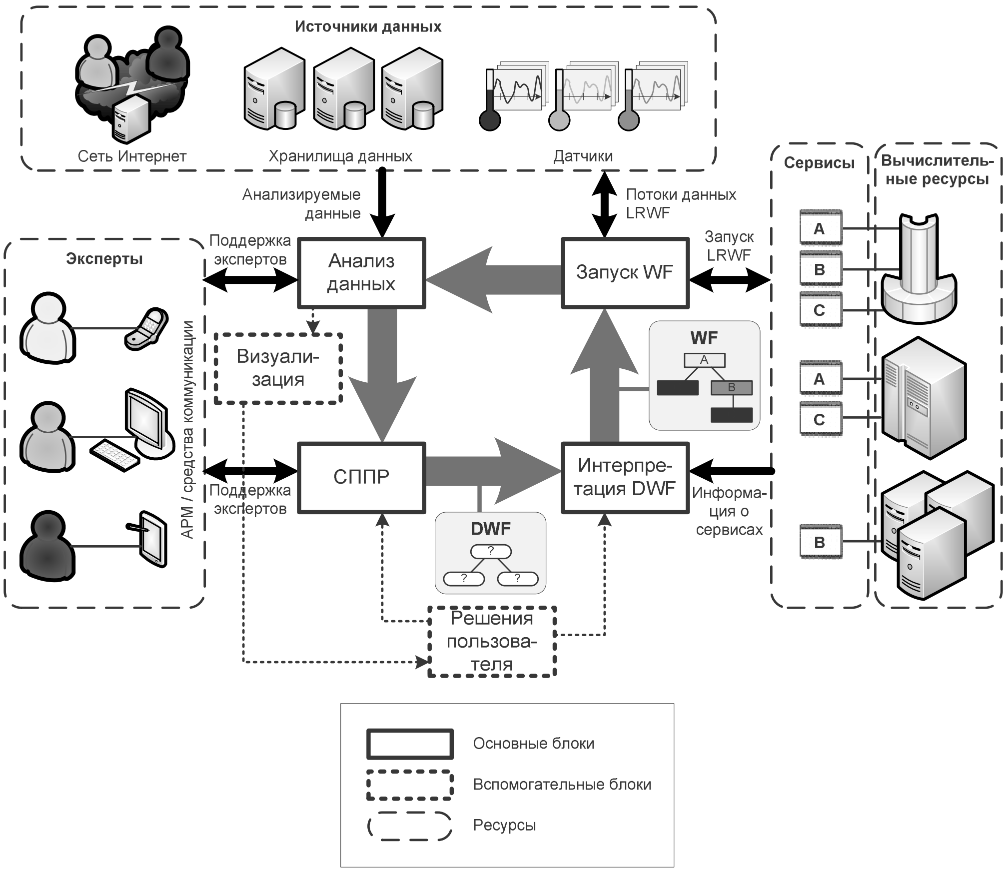


Рисунок 2 – Схема функционирования ВЛЭВ

Базовый цикл работы составляют четыре ключевые операции, которые могут выполняться как в пакетном режиме, так и в потоковом:

Работа системы ППР в ходе анализа данных, оценки вариантов развития ситуации по выбранным сценариям. Основной задачей данной операции является построение и обновление DWF как структуры, состоящей из связанных абстрактных операций и множества ассоциированных с ними элементов как допустимых реализаций этих абстрактных блоков.

Интерпретация DWF, которая определяет структуру WF, запускаемого на выполнение для моделирования выбранного сценария. Формирование WF осуществляется с использованием допустимых блоков (чаще всего MWF или AWF), ассоциированных с абстрактными операциями DWF. Выбранная интерпретация порождает новый, готовый для исполнения, WF или обновляет (заменяет) существующий в случае циклической работы.

Запуск WF на исполнение формирует набор вычислительных сервисов, взаимосвязанных в рамках построенной структуры. При этом в случае пакетной обработки обновленный WF может изменить состояние уже выполняющихся WF или создать новый экземпляр, запускающийся на исполнение. Кроме сервисов в процессе выполнения для чтения и записи используются источники данных, доступные в качестве ресурсов системы.

Для решения задачи планирования вычислений в рамках концепции UC вводится модель обобщенного облака вычислительных ресурсов $\Omega = \{\Omega_i\}_{i=1}^{n}$; где Ω_i – физические ресурсы – отдельные вычислительные системы (серверы приложений, хранилища данных и пр.). Каждый вычислительный ресурс характеризуется кортежем, определяющим его основные технические характеристики:

$$\Omega_i = \left\langle B, (q, p, \Pi)_B, (m, \mu), (d, D), \Im_t) \right\rangle_i . \tag{8}$$

Здесь B – элемент из множества классов вычислительных архитектур (SMP, MPP, GPGPU, FPGA), определяющих технические характеристики ресурсов, связанные с запуском на них тех или иных пакетов. Производительность каждого ресурса характеризуется триплетом $(q, p, \Pi)_B$, где q – количество ядер, p – количество процессоров, Π – количество узлов; марка B определяет форму их иерархии в конкретной архитектуре. Оперативная память описывается набором (m, M) объемных характеристик памяти на узле m и в системе M в целом. Дисковая память характеризуется аналогичными по смыслу величинами (d, D).

Многомерное вероятностное распределение $\Im_t(T)$, где $T = \{t_1, ..., t_m\}$, описывает составляющие случайной изменчивости временных характеристик накладных расходов работы с данной вычислительной системой как с физическим ресурсом Ω_i в распределенной среде. Они могут включать в себя время $t_w(\Xi)$ на передачу данных Ξ на физический ресурс Ω_i и накладные расходы $t_r(\Omega)$ системы управления вычислительным ресурсом Ω_i. Такая высокоуровневая детализация позволяет использовать модель (8) как для «настоящих» физических ресурсов (серверов и суперкомпьютеров), так и для виртуальных систем (например, Грид-инфраструктур), доступных в «облаке», что соответствует принципам функционирования ВЛЭВ. В случае виртуальных систем значение t_r может быть представлено в форме суммы отдельных составляющих накладных расходов, связанных с работой отдельных управляющих сервисов Грид.

В процессе запуска предоставленного пользователю сервиса в облаке происходит выделение (резервирование) виртуального ресурса Ω_i^* на физическом ресурсе Ω_i, при этом оставшийся ресурс $\widetilde{\Omega}_i = \Omega_i \setminus \Omega_i^*$ может быть задействован для другой задачи. Эта операция позволяет рассматривать $\widetilde{\Omega}_i$ как физический ресурс, однако – с «ухудшенными» (за счет выделения под заданную задачу) характеристиками по

сравнению с Ω_i. Следует отметить, что изменение касается не только числовых характеристик вычислителей (количество процессоров, узлов, ядер) и памяти, но и свойств распределения $\Im_t(T)$: при увеличении количества независимых приложений объем накладных расходов может увеличиваться.

Модель (8) описывает ресурсную составляющую распределенной вычислительной среды. Для описания процессов, связанных с исполнением композитных приложений, вводится модель запуска отдельного сервиса:

$$\Sigma_j = \left\langle \Xi_j, S_j(\Xi_j, p, \Omega_i), \kappa_{ij}, T_{0j} \right\rangle, \quad (9)$$

который ассоциирован с каждым из физических ресурсов Ω_i в (8). Здесь Ξ_j – характеристики (объем, структура) входных и выходных данных сервиса, $S_j(\Xi_j, P, \Omega_i)$ – формализация «внутреннего» параллельного ускорения (например, в виде параметрической модели) на физической системе Ω_i в зависимости от количества занимаемых вычислительных ресурсов $P = (q, p, \Pi)$, κ_{ij} – относительная пиковая производительность системы Ω_i для заданного сервиса Σ_j, а T_{0j} – абсолютное время исполнения сервиса на «эталонном» (т.е. выбранном для сопоставления) ресурсе облачной среды (8) в последовательном режиме. При запуске произвольного сервиса создается *сессия* $\Sigma_{ij}^{(k)} = \Sigma_j(\Xi_j^{(k)}, S_j(\Xi_j^{(k)}, P^*, \Omega_i^*), \kappa_{ij})$, определяющая прикладной пакет с заданными характеристиками исполнения, функционирующий на выделенном виртуальном ресурсе Ω_i^*. Здесь P^* в общем случае соответствует оптимальному режиму исполнения сервиса (в соответствии с максимумом функции $S_j(\Xi_{ij}, P^*, \Omega_i)$ при ограничении на предельное число вычислителей на ресурсе $\tilde{\Omega}_i$.

Таким образом, временной срез общей загрузки ресурсов распределенной вычислительной среды представляется в виде:

$$\Sigma = \left\langle \left\{ \Sigma_{ij}^{(k)}(\Omega_i^*) \right\}_{\substack{i=\overline{1,N} \\ j \in W}}^{k=\overline{1,M}} \middle| \bigcup_l \Omega_l \setminus \bigcup_i \Omega_i^* \right\rangle. \quad (10)$$

Здесь k – индекс сквозной нумерации сессий пользователей, i – индекс сквозной нумерации виртуальных ресурсов, выделяемых под предоставление им сервисов, а $j \in W$ – идентификаторы конкретных содержательных сервисов. При этом допускается одновременное наличие нескольких сессий одних и тех же пользователей с одинаковыми сервисами, различающимися, например, только параметрами запуска $\Xi_{ij}^{(k)}$.

Объект $\overline{\Omega} = \bigcup_l \Omega_l \setminus \bigcup_i \Omega_i^*$ определяет доступное облако ресурсов, которое может быть представлено в виде

$$\overline{\Omega} = \bigcup_l \tilde{\Omega}_l = \bigcup_l \left(\Omega_l \setminus \left\{ \Omega_{al}^*, \Omega_{bl}^*, \ldots \right\} \right), \quad (11)$$

т.е. с учетом того, что виртуальный ресурс выделяется на конкретной физической целевой системе.

Таким образом, в рамках модели (8) – (11) могут быть построены различные стратегии планирования распределения вычислительных ресурсов исходя из степени полноты знаний о характеристиках UC-WF, времени исполнения заданий других пользователей ВЛЭВ в приложениях распределенных сред, ресурсы которых интег-

рирует ВЛЭВ. Все стратегии планирования учитывают возможности оптимизации текущего плана с целью выработки плана, который вписывается в выбранные границы времени исполнения.

2. Суперкомпьютерные технологии экстренных вычислений

Суперкомпьютерные технологии экстренных вычислений являются базовым направлением, ключевыми задачами которого являются:

Развитие высокоуровневых средств поддержки принятия решений на основе концепции интеллектуальных проблемно-ориентированных сред (iPSE, Intelligent Problem Solving Environment). Концепция и программная технология iPSE [3] обобщает классическую концепцию PSE (Problem Solving Environment), позволяя для различных предметных областей разрабатывать программный инструментарий разного уровня (технологические платформы, виртуальные полигоны, проблемно-ориентированные комплексы и интерфейсы к распределенным средам) на основе набора базовых программных сервисов.

Развитие интеллектуальных технологий управления производительностью в распределенной среде экстренных вычислений. Спецификой задач UC является динамическое формирование требуемых вычислительных мощностей на основе неоднородных ресурсов. Потому задачи управления вычислениями, планирования и оптимизации загрузки ресурсов отличаются от традиционных – как для однородных суперкомпьютеров сверхвысокой производительности, так и для распределенных сред коллективного пользования (Грид). Специфика работы в таких средах обусловлена неопределенностью их состояния и требует применения интеллектуальных технологий [15] на основе совмещения подходов [6] и [13].

Создание языков программирования и инструментальных средств для решения мультидисциплинарных задач в распределенных средах. Развитие распределенных сред в рамках парадигмы eScience обеспечивает возможность не только консолидации вычислительных ресурсов, но и использования различных прикладных пакетов (в виде сервисов), объединяя их в составе общего *композитного* приложения. Использование композитных приложений является ключевым для решения задач UC, постановка которых требует сопряжения пакетов из нескольких предметных областей, отражающих причинно-следственные связи при развитии критической ситуации. Однако прямое объединение разработанных с использованием разных технологий пакетов весьма затруднительно [15] вследствие различий их интерфейсов. Преодоление данной проблемы возможно за счет введения предметных языков (Domain Specific Language, DSL) для описания отдельных сервисов и композитных приложений с целью унификации на уровне общих сущностей («ресурс», «пакет», «данные», «параметры», «результат» и пр.).

Таким образом, в рамках данного направления исследований решаются задачи, актуальные в свете парадигмы eScience как в России, так и за рубежом. Их результаты должны определить облик ВЛЭВ и функциональные возможности демонстрационных приложений. Среди решаемых задачи следует выделить:

1. ***Поддержка принятия решений по предотвращению наводнений.*** Система раннего реагирования по предотвращению наводнений является одним из приложений ВЛЭВ. Выбор этой задачи обусловлен как актуальностью проблемы предотвращения нагонных наводнений для Нидерландов и Российской Федерации (в частности,

Санкт-Петербурга), так и уже имеющимся опытом работы при создании действующей EWS Комплекса защитных сооружений (КЗС) Санкт-Петербурга от наводнений [4]. Целью исследований является создание на основе ВЛЭВ EWS *нового поколения* по отношению к имеющимся аналогам. При этом ставится цель создания ситуационного центра для получения новых решений.

2. ***Поддержка принятия решений в социальных системах***. Отдельной задачей является развитие EWS для поддержки принятия решений в критических ситуациях, имеющих существенный социальный эффект. К ним относятся явления, возникающие за счет социодинамических процессов в обществе (разного рода акции, террористические акты, криминальные действия и пр.), а также обусловленные реакцией общества на внешние воздействия (паника при пожарах или затоплениях, развитие эпидемий и пр.).В настоящее время вычислительная социология (Computational Social Science, CSS) является весьма перспективным направлением научных исследований за рубежом [5]. Развитие данного направления возможно при современном состоянии компьютерных технологий, когда стали доступны источники информации о поведении индивидов (трекинг мобильных телефонов, социальные сети в Интернете и пр.).

3. Моделирование критических ситуаций на основе ВЛЭВ

Причиной наводнения может стать ситуация, когда существующие защитные сооружения невозможно использовать в связи с нарушением ограничений на условия их эксплуатации. Это может приводить к критическим режимам, когда такие элементы, как подвижные затворы, шлюзы и гидравлические ворота, выйдут из строя. Это определяет актуальность поддержки процесса управления затворами в рамках общей EWS, что обеспечивает возможность обнаружения потенциально опасных вибраций затворов до их возникновения и предложения способа работы, который позволит избежать или свести к минимуму вибрации затворов. В результате учета всех факторов для расчета оптимального алгоритма маневрирования затворами в EWS используется следующая последовательность шагов: получение очередного прогноза, реконструкция хода уровня на дальних сроках прогнозирования (это позволяет приближенно оценить время открытия даже для тех наводнений, у которых ход уровня неизвестен), автоматизированное выделение нескольких наводнений в рамках одного прогноза. Этот шаг позволяет классифицировать несколько интервалов превышения критического уровня в рамках одного прогноза и спрогнозировать необходимость нескольких операций маневрирования, расчет эталонного плана маневрирования.

При выборе оптимального плана маневрирования в зависимости от промежутка времени между началом прогноза и началом наводнения из списка планов, среди которых выбирается оптимальный, удаляются те, время закрытия которых находится ближе к времени закрытия эталонного плана на заданную величину упреждения. Величина упреждения для каждого диапазона прогноза является внешним параметром и рассчитывается на основе анализа планов, полученных на ретроспективных расчетах наводнений. Такой подход реализуется для обеспечения заданных гарантий недопущения наводнения в 99 % случаев (общее требование к надежности системы при средней повторяемости наводнений 1 раз в год) и является одним из основных способов борьбы с неопределенностью при расчете оптимального плана и неточностью прогноза. Дополнительным способом борьбы с неопределенностью является понижение критического уровня, который определяет наступление наводнения (для Санкт-Петербурга понижение критического уровень с учетом ошибки прогноза достигается

со 160 до 130 см). Среди выбранных планов выявляются безопасные (удовлетворяющие всем ограничениям на эксплуатацию сооружений КЗС), из них отбираются планы, которые обеспечивают минимальное пребывание затворов в закрытом состоянии (минимизацию экономического ущерба от маневрирования затворами). Если ни один план, предотвращающий наводнение, не является безопасным с точки зрения соблюдения природных ограничений, то основным критерием отбора является интегральный показатель опасности плана. Пример работы алгоритма расчета оптимального плана приведен на рис.3 (горизонтальная линия означает порог наводнения, верхняя кривая – прогноз для оптимального плана, остальные кривые соответствуют множеству прогнозов для альтернативных планов маневрирования). Точки − время операций закрытия и открытия затворов.

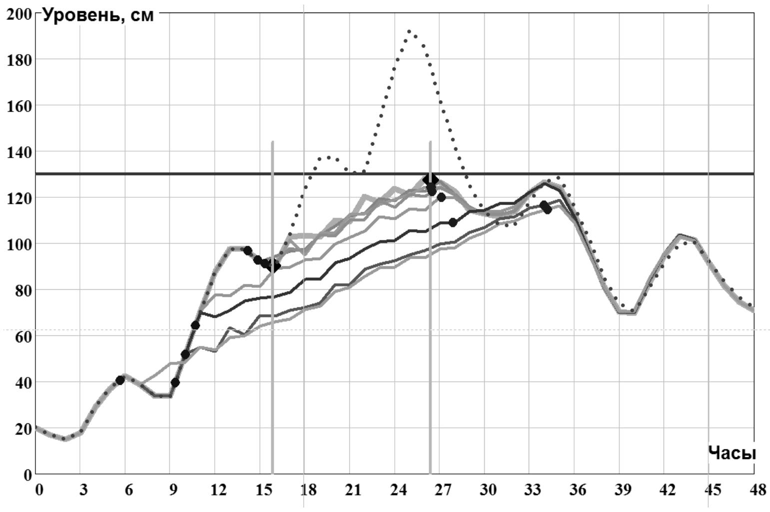


Рисунок 3 – Результат расчета прогноза при различных планах закрытия для наводнения 10 января 2006 г.

Таким образом, маневрирование затворами является основным механизмом предотвращения развития ситуации наводнения и снижения рисков.

Заключение

В результате проведенного исследования разработана интеллектуальная технология ВЛЭВ, обеспечивающая моделирование процессов и явлений на базе высокопроизводительных вычислений для ППР в экстремальных ситуациях в условиях ограниченного времени на принятие решений. Основная задача такой технологии состоит в том, чтобы динамически формировать и контролировать ресурсы (данные, прикладных пакетов, вычислительных мощностей) в распределенной среде для решения задачи в форме сценария в течение заданного времени. Управление ресурсами осуществляется низкоуровневыми средствами UC без участия пользователя. После завершения задачи используемые ресурсы освобождаются автоматически. Система UC является динамической: она не располагает выделенной вычислительной инфраструктурой, однако реализует механизмы для обеспечения приоритетов исполнения задач в распределенных средах общего назначения.

Работа выполнена в рамках комплексных НИОКР в соответствии с реализацией Постановлений №218 и №220 Правительства РФ. Основные результаты работы доложены на II Международной конференции Russia Cloud (Москва, 18 апреля 2012 г.).

Литература

1. Безгодов А.А., Иванов С.В., Косухин С.С., Бухановский АВ. Виртуальный полигон для исследовательского проектирования морских объектов и сооружений // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 10. С. 58 – 65.
2. Болгова Е.В., Иванов С.В., Гринина Е. А., Слоот П.М.А., Бухановский А.В. Параллельные алгоритмы моделирования динамических процессов на комплексных сетях // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 10, С. 72 – 79.
3. Бухановский А.В., Ковальчук С.В., Марьин С.В. Интеллектуальные высокопроизводительные программные комплексы моделирования сложных систем: концепция, архитектура и примеры реализации // Изв. вузов. 2009. Т. 52, № 10. С. 5 – 24.
4. Бухановский А.В., Житников А.Н., Петросян С.Г., Слоот П.М.А. Высокопроизводительные технологии экстренных вычислений для предотвращения угрозы наводнений // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 10. С. 14 – 20.
5. Иванов С.В. и др. Веб-ориентированный центр в области социодинамики:концепция и принципиальная архитектура // Тр. XIV Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2011). СПб, 2011. С. 75–80.
6. Марьин С.В., Ковальчук С.В., Рыбаков Г.М., Бухановский А.В. Динамическое управление распределенными вычислительными ресурсами в составе композитного приложения // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2010. Вып. 67. С. 126 – 126.
7. Марьин С.В., Ларченко А.В., Ковальчук С.В., Князьков К.В., Болгова Е.В., Бухановский А.В. Интеллектуальные технологии распределенных вычислений для моделирования сложных систем // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2010. Вып. 70. С. 123 – 124.
8. Мостаманди С.В., Насонов Д.А., Калюжная А.А., Бухановский А.В. Ансамблевые прогнозы экстремальных гидрометеорологических явлений в распределенной среде CLAVIRE // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. Т. 54, № 10. С. 102 – 104.
9. Померанец К.С. Три века петербургских наводнений. СПб: «Искусство-СПБ», – 2005.
10. Belleman R.G. Visualization in Computational Science / Ed. by P.M.A. Sloot, G.D. van Albada, and J. Dongarra // Proc. Comp. Sci. 2010. Vol. 1, № 1. P. 1689–1690.
11. Gill M., Malanotte-Rizzoli P. Data assimilation in meteorology and oceanography // Adv. Geophys. 1991. Vol. 33. P. 141–266.
12. Hu D., Kaza S., Chen H. Identifying Significant Facilitators of DarkNetwork Evolution // J. of the American Society for Inf. Sci. and Techn. 2009. Vol. 60, № 4. P. 655–665.
13. Korkhov V. V., Krzhizhanovskaya V. V., and Sloot P.M.A. A Grid-Based Virtual Reactor: Parallel performance and adaptive load balancing // J. of Parallel and Distributed Comp. Elsevier, 2008. Vol. 68, N 5. P. 596–608.
14. *Newman M. E. J.* The Structure and Function of Complex Networks // SIAM Review. 2003. Vol. 45, № 2. P. 167–256.
15. Parastadis S. A Platform for All That We Know: Creating a Knowledge-Driven Research Infrastructure // The Fourth Paradigm. Data-Intensive Scientific Discovery. Microsoft, 2009. P.165–172.
16. Schadschneider A. et al. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications // Phys. Rev. E. 2008. Feb.
17. Simulation Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation // Report of the National Science Foundation. Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science. 2006. May.
18. Sloot P. M. A., Ivanov S. V., Boukhanovsky A. V., Van De Vijver D. A. M. C., and Boucher C. A.B. Stochastic simulation of HIV population dynamics through complex network modeling // Intern. J. of Comp. Math. 2008. Vol. 85, № 8. P. 1175–1187.
19. The EU Provenance Project [Электронный ресурс]: <http://www.gridprovenance.org/>.
20. Van Liere R., Mulder J. D., Wijk J. J. Computational Steering. Elsevier Science, 1998.

Literatura

1. Bezgodov A.A., Ivanov S.V., Kosuxin S.S., Buxanovskij Av. Virtualnyj poligon dlya issledovatelskogo proektirovaniya morskix obektov i sooruzhenij // Izv. vuzov. priborostroenie. 2011. t. 54, № 10. c. 58 – 65.
2. Bolgova E.V., Ivanov S.V., Grinina E.A., Sloot P.M.A., Buxanovskij A.V. Parallelnye algoritmy modelirovaniya dinamicheskix processov na kompleksnyx setyax // Izv. vuzov. priborostroenie. 2011. t. 54, № 10, s. 72 – 79.

3. Buxanovskij A.V., Kovalchuk S.V., Marin S.V. Intellektualnye vysokoproizvoditelnye programmnye kompleksy modelirovaniya slozhnyx sistem: koncepciya, arxitektura i primery realizacii // Izv. vuzov. 2009. t. 52, № 10. s. 5 − 24.
4. Buxanovskij A.V., Zhitnikov A.N., Petrosyan S.G., Sloot P.M.A. Vysokoproizvoditelnye texnologii ekstrennyx vychislenij dlya predotvrashheniya ugrozy navodnenij // Izv. vuzov. priborostroenie. 2011. t. 54, № 10. c. 14 – 20.
5. Ivanov S.V. i dr. veb-orientirovannyj centr v oblasti sociodinamiki:koncepciya i principialnaya arxitektura // tr. xiv vserossijskoj obedinennoj konferencii «internet i sovremennoe obshhestvo» (ims-2011). spb, 2011. c. 75–80.
6. Marin S.V., Kovalchuk S.V., Rybakov G.M., Buxanovskij A.V. Dinamicheskoe upravlenie raspredelennymi vychislitelnymi resursami v sostave kompozitnogo prilozheniya // Nauch.-texn. vestn. spbgu itmo. 2010. vyp. 67. s. 126 – 126.
7. Marin S.V., Larchenko A.V., Kovalchuk S.V., Knyazkov K.V., Bolgova E.V., Buxanovskij A.V. Intel¬lektualnye texnologii raspredelennyx vychislenij dlya modelirovaniya slozhnyx sistem // Nauchno-texnicheskij vestnik spbgu itmo. 2010. vyp. 70. s. 123 – 124.
8. Mostamandi S.V., Nasonov D.A., Kalyuzhnaya A.A., Buxanovskij A.V. Ansamblevye prognozy ekstremalnyx gidrometeorologicheskix yavlenij v raspredelennoj srede clavire // izv. vuzov. Pribo-rostroenie. – 2011. t. 54, № 10. c. 102 – 104.
9. Pomeranec K.S. Tri veka peterburgskix navodnenij. spb: «Iskusstvo-spb», – 2005.
10. Belleman R.G. Visualization in Computational Science / Ed. by P.M.A. Sloot, G.D. van Albada, and J. Dongarra // Proc. Comp. Sci. 2010. Vol. 1, № 1. P. 1689–1690.
11. Gill M., Malanotte-Rizzoli P. Data assimilation in meteorology and oceanography // Adv. Geophys. 1991. Vol. 33. P. 141–266.
12. Hu D., Kaza S., Chen H. Identifying Significant Facilitators of DarkNetwork Evolution // J. of the American Society for Inf. Sci. and Techn. 2009. Vol. 60, № 4. P. 655–665.
13. Korkhov V. V., Krzhizhanovskaya V. V., and Sloot P.M.A. A Grid-Based Virtual Reactor: Parallel performance and adaptive load balancing // J. of Parallel and Distributed Comp. Elsevier, 2008. Vol. 68, N 5. P. 596–608.
14. Newman M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks // SIAM Review. 2003. Vol. 45, N 2. P. 167–256.
15. Parastadis S. A Platform for All That We Know: Creating a Knowledge-Driven Research Infrastructure // The Fourth Paradigm. Data-Intensive Scientific Discovery. Microsoft, 2009. P.165–172.
16. Schadschneider A. et al. Evacuation Dynamics: Empirical Results, Modeling and Applications // Phys. Rev. E. 2008. Feb.
17. Simulation Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation // Report of the National Science Foundation. Blue Ribbon Panel on Simulation-Based Engineering Science. 2006. May.
18. Sloot P. M. A., Ivanov S. V., Boukhanovsky A. V., Van De Vijver D. A. M. C., and Boucher C. A.B. Stochastic simulation of HIV population dynamics through complex network modeling // Intern. J. of Comp. Math. 2008. Vol. 85, № 8. P. 1175–1187.
19. The EU Provenance Project: <http://www.gridprovenance.org/>.
20. Van Liere R., Mulder J. D., Wijk J. J. Computational Steering. Elsevier Science, 1998.

Статья поступила в редакцию 03.04.2013.